

氏 名 谷 内 通

本 籍 茨城県

学 位 の 種 類 博士 (学術)

学 位 記 番 号 博甲第7号

学位授与の日付 平成9年3月25日

学位授与の要件 課程博士 (学位規則第4条第1項)

学位授与の題目 ラットの系列学習に関する実験的検討
(An Experimental Study of Serial Learning in Rats.)

論文審査委員 委員長 小 牧 純 爾

委 員 吉 村 浩 一, 片 桐 和 雄

学位論文要旨

本研究では、ラットにおける報酬量系列の学習について検討した。この種の研究は、Hulse & Dorsky (*Learning and Motivation*, 1977, 8, 488-506) が、直線走路の目標箱で与える報酬量 (45mgの餌ペレットの数) を項目とした系列の習得において、14-1-3-7-0 非単調系列や14-5-5-1-0 弱単調系列よりも14-7-3-1-0 単調系列の0ペレットの方が容易に予期されることを報告した研究に端を発する。

Hulse は、ラットは項目間の相対的關係性を符号化することによって系列を学習すると仮定する法則符号化仮説を提起した。これに対し、Capaldi (e.g., Capaldi & Molina, *Animal Learning & Behavior*, 1979, 7, 318-322) は、項目間連合の形成によって系列学習を説明する記憶弁別理論を提起した。法則符号化仮説と記憶弁別理論を吟味した研究は、現在に至るまで非常に多い。しかしながら、最近の総論においても、法則学習を確証する証拠はないことが指摘されている (e.g., Compton, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 1991, 15, 363-374)。

また、様々な動物種間の知的能力を比較する比較認知研究において議論が盛んな話題の一つに、非霊長類における抽象的表象の存在の問題がある。この研究領域においても、ラット等の非霊長類は抽象的符号を持たないとする仮説が提起されている (Premack, *Behavioral and Brain Science*, 1983, 6, 125-167)。本研究では、系列学習における法則学習の吟味を通じて、ラットにおける抽象的表象の形成について検討するとともに、項目連合過程の機能について検討した。

本研究において報告された9つの研究は、(1)走行間隔や系列の長さ等の系列特性に依存して、ラットの系列学習には法則符号化過程と項目連合過程の両者が関与する事を実証すること (実験1・2)、(2)系列学習における遠隔連合の形成と消去への関与を吟味すること (実験3・4)、(3)系列学習の保持を吟味すること (実験5)、(4)空間行動と報酬量トラッキング行動の関連を吟味すること (実験6・7)、および、(5)報酬系列の法則構造を信号とした弁別学習の成立について検討することにより、ラットにおける報酬項目間の相対的關係性の処理能力を直接的に吟味すること (実験8・9) を目的とした。

実験1では、まず第1段階において、14-7-3-1-0 単調減少系列を15-20秒間 (S群) と4-5分間 (L群) の走行間隔で与え、第2段階では系列を14-3-7-1-0 非単調系列へ移行した。その結果、第1段階では0ペレット予期に対する走行間隔の効果は認められなかったが、法則構造の変化に伴う0ペレット予期の劣化は、L群よりもS群において大きかった。この結果は、走行間隔

が短い場合に法則構造の符号化に基づく学習が促されることを示すものである。実験2では、走行間隔の移行方向と系列の長さの効果を吟味した。先行研究では、延長もしくは短縮といった走行間隔の移行による項目予期の劣化について一貫した結果が得られていない。実験2では、これらの結果を、(1)法則構造の符号化は短い走行間隔の下でのみ行われる、(2)系列が長い場合に法則構造の学習が促される、という記憶負荷によって説明する仮説を提起・検証した。4群のラットに、18-1-0系列もしくは18-10-6-3-1-0系列を、第1段階では15-20秒間もしくは5-7分間の走行間隔で提示し、第2段階において走行間隔を延長もしくは短縮した。その結果、走行間隔移行に伴う0ペレット予期の劣化は、6項目系列について走行間隔を延長した群においてのみ観察され、走行間隔移行方向と系列の長さの交互作用が示された。この結果は、記憶負荷仮説の予測を支持するものである。考察において、実験1および実験2において示された結果は、項目連合学習からは説明不可能であることを論じた。その結果、ラットの系列学習には、実験条件に依存して、項目間の相対的関係性の符号化に基づく法則学習が関与することを示唆した。

実験3と実験4は、単一交替系列の習得と消去における遠隔連合の機能について検討した。これまでに、報酬項目毎に報酬量に変化するような単一交替系列においても報酬量予期が示されること、および、系列の法則構造が単調であるほど消去抵抗が低くなることが報告されている。このような系列の習得と消去は法則構造の学習を示す根拠とされてきた。実験3と実験4では、このような単一交替系列の習得と消去が、法則学習よりも、遠隔連合の形成によって適切に説明されることを示した。実験3では、一致群(A群)には16-0-16と1-0-1という2系列、不一致群(D群)には1-0-16、16-0-1という2系列を与えた。その結果、第2項目の0ペレットに対する走行は、第3項目が1ペレットの系列よりも16ペレットの系列で速くなり、第2走行における第3項目の遠隔予期が確認された。また、第2項目に対する走行速度の系列間の分化は、A群よりもD群において大きくなり、0ペレットに対する走行速度が、後続項目の報酬量だけでなく、先行項目の報酬量にも影響されることが示された。さらに、消去抵抗はA群よりもD群において高くなり、遠隔連合が消去抵抗にも影響することが実証された。実験4では、10項目からなる単一交替系列の習得と消去を吟味した。M16群には0-16-0-8-0-4-0-2-0-1単調系列、M1群には0-1-0-2-0-4-0-8-0-16単調系列を与え、NM16群には0-16-0-2-0-4-0-8-0-1非単調系列、NM1群には0-1-0-8-0-4-0-2-0-16非単調系列を与えた。習得段階では、0ペレットに対する走行パターンは、系列の法則構造よりも、0ペレットに先行・後続する報酬項目の報酬量に規定されることが示唆された。また、消去抵抗はM16群よりもNM1群、M1群およびNM16群において高かった。法則構造の複雑性において等しいM16群とM1群の消去抵抗に差が認められたことから、法則符号化仮説よりも遠隔連合仮説が支持された。考察では、交替系列の習得と消去が、主に遠隔連合の形成によって説明されることを論じるとともに、遠隔連合を含めた項目連合過程と法則符号化過程の関係性を明らかにする必要があることを指摘した。

実験5では、系列間移転課題を用いて、系列学習の保持を吟味した。まず、原訓練として、2、3、および4項目からなる単調減少系列(M条件)もしくはランダム系列(R条件)による訓練を行った。原訓練終了の1日もしくは21日後から、16-9-3-1-0新奇系列を用いた転移訓練を行った。その結果、原訓練から転移訓練までの間隔が1日と21日の両条件において、新奇系列の習得はR条件よりもM条件において優れた。この結果は、系列の法則構造に関する学習が21日間という長期間に渡って保持されたことを示すものである。これまでに、強化系列習得後の時間経過による消去抵抗の減衰に関しては、交替系列よりもランダム系列において顕著になるという部分強化遅延消去効果が報告されている(e.g., Ishida, *Animal Learning & Behavior*, 1986, 14, 293-300)。Ishida (1986) は、単調な法則構造に関する記憶は長期に渡って保持されることを仮定する仮説によって部分強化遅延消去効果を説明している。実験5の結果は、単調な法則構造が長期に渡って保持されることを示しており、Ishida (1986) の仮定を支持するものであることを論じた。

実験6と実験7では、より複雑な空間における系列学習を吟味した。実験6では、4方向放射状迷路のアームごとに異なる報酬系列を割り付け、試行毎の選択行動を分析した。しかし、報酬量に対応した報酬量トラッキング行動は認められなかった。また、訓練の進行に伴い、ステレオタイプ化した反応パタンの発達を確認された。アームへの再侵入データを分析したところ、ステレオタイプ化した反応パターンが生じた試行ではその他のパターンが正起した試行よりも正選択率が高いことが示された。この結果に基づいて、報酬量トラッキング行動が示されなかった原因が、ステレオタイプ化した反応パタンの発現にあること、および、ステレオタイプ化した反応パターンは、空間記憶における順向抑制に対する適応行動として発現したことを論じた。実験7では、実験6と同様の実験事態において、既侵入のアームへの侵入を制限する実験群と制限しない統制群の遂行を比較した。その結果、統制群はステレオタイプ化した反応パターンを発現したが、実験群では、そのような反応パタンの発達が抑制された。報酬量トラッキング行動は、両群において認められなかった。全体的考察では、放射状迷路における報酬量トラッキング行動が、空間記憶における順向抑制の強度、アームへの再侵入に伴う反応コストもしくは時間的遅延の大きさ、報酬量といった要因の交互作用によって規定される可能性を論じた。

実験8と実験9では、報酬系列の法則構造を信号とした弁別学習の成立について検討することにより、ラットにおける報酬項目間の相対的關係性の処理能力を直接的に吟味した。装置は改良型のT字迷路であった。ステム部分において系列を提示し、系列の法則構造によって左右の目標箱への侵入を分化強化した。実験8では、16-8-4、8-4-2、4-2-1減少系列と4-8-16、2-4-8、1-2-4増加系列の弁別を吟味した。その結果、全ての被験体の遂行が、チャンスレベルよりも有意に高い水準に達した。しかし、より詳細な分析の結果、系列の全体的な法則構造ではなく、第3項目の報酬量という局所手がかりが弁別刺激として機能したことが明らかとなった。そこで、実験9では、実験8で使用した系列に32-16-8減少系列と0-1-2増加系列を加えることにより、第3項目の弁別性を低下させた系列のセットについて弁別訓練を行った。その結果、ラットの遂行はチャンスレベルよりも有意に高い水準に達した。また、特定の系列位置の項目の報酬量や複数の系列位置の項目の総報酬量といった手がかりが弁別刺激として機能した可能性は排除された。さらに、転移訓練において、32-8-2系列と0-2-8系列という法則構造の顕著な新奇系列と訓練系列を比較したところ、被験体の遂行は訓練系列よりも新奇系列において優れた。この結果は、ラットが系列の法則構造を手がかりとして系列を弁別したことを示すものである。全体的考察では、実験9の結果は、系列的に提示される事象間の相対的關係性の処理をラットにおいて初めて実証したものであることを論じた。また、実験9の転移訓練の結果について、複数項目の形態的記憶を弁別刺激とした場合に生じ得る頂点移行現象によって説明される可能性を排除する必要があることを指摘した。

総括として、実験1、実験2、実験8、および実験9で示された結果は、ラットが系列学習において項目間連合と法則構造という2種類の情報を利用することを実証するものであることを論じた。

Abstract

The present study is a report of a series of experiments conducted to examine serial pattern learning in rats. Experiments 1 and 2 tested effects of interrun interval (IRI) and obtained results which suggest that short IRI facilitates rule encoding and long IRI promotes item association learning. Experiments 3 and 4 examined formation and extinction of remote interitem association in a alternating pattern learning. It was found that acquisition and extinction of single-alternating series were most appropriately explained in terms of remote association hypothesis. Experiment 5 investigated retention of serial learning. Positive transfer effect was observed on the transfer test series which had the same structure as the original series after 21 days delay. Experiments 6 and 7 examined rats' pattern tracking behavior on a four-arm radial maze. Rats developed stereotypical response patterns as response strategy to cope with proactive inhibition in spatial memory. In experiments 8 and 9, rats were trained with pattern discrimination task. Rats reliably discriminated between decreasing and increasing series, eliminating the possibility that any local cue served as discriminative stimulus. They also displayed better performance on the novel series than the training series. It was discussed that rats can operate abstract representation of rule structure, and that both of the rule learning and the item association learning can mediate the serial learning in rats.

Key words :

rats, serial learning, rule learning, associative learning, abstract representation.

学位論文の審査結果の要旨

当論文は、最近新たな関心の下に盛んに研究されるようになって来た、動物の知的能力に関する比較心理学領域の研究の報告である。チンパンジーなどの高等な霊長類はともかく、シロネズミと言った齧歯類水準の下等動物には、外的事象の抽象的表象を形成する能力はないものと考えられてきた。最近、この通念を疑わせるいくつかの事実が報告され、これらの事実の理解をめぐって盛んな検討が行われている。谷内はこうした問題の一つ、シロネズミの系列的事象に関する表象形成の問題を取り上げ、対立する二つの理論的立場、法則符号化理論と記憶弁別理論の批判的検討を中心に9つの実験を行い研究を進めてきた。

空腹状態にあるシロネズミを走路に入れ、一端にある目標箱まで走行すると餌が得られるようにしておく。目標箱で報酬を食べ終えたシロネズミを改めて走路に入れ、再度走行させる。こうした走行を、例えば、5回反復させることにするが、5回目の走行の際には目標箱に一切餌をセットしないようにしておく。こうした5回の反復走行訓練を何日か続けると、シロネズミは5回目の走行では報酬が得られないことを予測するようになり、5回目には目標箱への走行をしぶるようになってくる。走行することがあっても、走行速度は著しく低下する。

この走行拒否を含めた走行速度の低下は単なるゼロ報酬の予測の学習にすぎず、特に高等な知的機能を意味しない。しかし、最近の研究は、このゼロ報酬予測の学習が、その前の4回の走行で与える報酬量の系列の構造に左右されることを明らかにしてきた。前4回の報酬量の系列が、例えば、14個・7個・3個・1個と言った単調減少の規則的な系列である場合には、前4回が、14個・1個・7個・3個と言った不規則でランダムな系列である場合よりも、この学習が速やかに進捗することが明らかになってきたのである。報酬量の系列の構造によってゼロ報酬の予測の学習が左右されるというこの事実を、法則符号化理論は単調減少と言った法則構造が符号化され、関係表象が形成されたことによると説明する。一方、記憶弁別理論は抽象的表象の仮定をおかず、個別報酬表象の連合形成と般化と言う従来からの原理の適用によってこの事実を説明しようとする。

これら二つの理論はそれぞれその観点を支持する証拠を持っていた。しかし、谷内は、これらの立場を背反するものではなく、関係表象の学習と個別表象の学習はどちらも成立しうるのであり、訓練の条件次第でそのどちらかが顕著になるのではないかとする相対的な立場から研究を開始した。そして、実験1と2において、報酬の系列構造に関する学習が確かなにされうること、系列構造に関する学習は走行と走行の時間間隔が短い場合に容易になる一方、時間間隔が長い場合には個別連合の学習が優越することを明らかにした。また、実験3と4では、これまで報酬系列の法則構造に関する学習の証拠とされてきた事実が、実は個別的表象の遠隔連合によって生じている可能性があることを明らかにする証拠を得た。そして、遠隔連合の過程と法則符号化過程の関連性を明らかにする必要があることを指摘した。

谷内は、次いで、関係表象に関する学習の性質を明らかにするための実験5を行い、この学習が21日と言う長い期間にわたって保持されることを明らかにした。この事実はそれ以前に発表された Ishida (1986) の想定を裏付ける最初の実証的な証拠となった。報酬系列の学習と空間行動の系列性を検討した実験6と7の後で、谷内は、報酬系列に関する表象の存在を直截的に明らかにするための特筆すべき実験8と9を行っている。直走路とT型選択肢からなる装置を考案し、ネズミが報酬の増加系列と減少系列に対して分化的に反応することを学習できるかどうかを明らかにするために、連続90日に及ぶ訓練を行った。ネズミが増加と減少の系列の構造を識別できるようになることが確かめられた。また、訓練を受けたネズミが、新たに提示された系列に対してもこの識別を般化出来ることが明らかになった。これはネズミにおける関係表象の存在を直截的に明らかにした最初の研究である。

谷内のこれらの実験研究はいずれも学問的示唆に富んでいる。また、これらの研究報告に見る通り、谷内の文献資料の批判的検討、研究主題の発掘、実験パラダイムの選定、データの分析、論証の進め

方はいずれも専門家の域に達している。独立の研究者として今後も水準の高い研究を遂行して行くことが出来るものと期待される。なお、谷内には日本動物心理学会の学会誌「動物心理学研究」に掲載済みの論文が既に3編、「社会環境研究」に掲載されたものが1編あるほか、全国学会での発表も2件を数えており、動物心理学会の注目すべき若手研究者としての評価を得つつある。また、谷内の第8および第9実験は国際学会での発表に値する価値の高いものであることを付言したい。博士論文として十分な水準に達しているものと判定する。